氧化鱼油对黄颡鱼生长性能和抗氧化指标的影响及精氨酸的干预作用[1]

卓丽欣[1,2,3,4] 赵红霞[2,3,4] 黄燕华[2,3,4] 曹俊明[2,3,4*] 王国霞[2,3,4] 陈 冰[2,3,4] 孙育平[2,3,4]

（1.上海海洋大学水产与生命学院，上海 201306；2.广东省农业科学院动物科学研究所，广州 510640；3.广东省动物育种与营养公共实验室，广州 510640；4.广东省畜禽育种与营养研究重点实验室，广州 510640）

摘 要：本试验旨在研究饲料中添加氧化鱼油对黄颡鱼（*Pelteobagrus fulvidraco*）生长性能、体成分、血清生化指标和血清、肝脏抗氧化指标的影响以及添加精氨酸对其的干预作用。选取初始重为（4.41±0.05）g 的健康黄颡鱼 600 尾，随机分为 6 组，每组 4 个重复，分别投喂含 2.5%新鲜鱼油（FF 组）、1.5%新鲜鱼油+1.0%氧化鱼油(FO1 组)、0.5%新鲜鱼油+2.0%氧化鱼油(FO2 组)、2.5%新鲜鱼油+0.48% *L*-精氨酸盐酸盐(FFA 组)、1.5%新鲜鱼油+1.0%氧化鱼油+0.48% *L*-精氨酸盐酸盐(FOA1 组)、0.5%新鲜鱼油+2.0%氧化鱼油+0.48% *L*-精氨酸盐酸盐(FOA2 组)的 6 种饲料，投喂期为 56 d。结果显示：在 FF、FO1、FO2 组中，随着氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼的增重率、特定生长率和蛋白质沉积率均逐渐降低，饲料系数和摄食率均逐渐升高，均在 FO2 组达到极值，与其他 2 组差异达到显著水平（$P < 0.05$）；氧化鱼油饲料添加精氨酸后，在 FFA、FOA1、FOA2 组的上述指标没有显著性差异（$P>0.05$），其中 FOA1、FOA2 组的增重率分别比 FO1、FO2 组升高 3.0%和 9.9%。双因素方差分析结果显示，氧化鱼油对黄颡鱼增重率和摄食率的影响达到显著水平（$P < 0.05$），氧化鱼油与精氨酸对黄颡鱼特定生长率、蛋白质沉积率和饲料系数的影响存在交互作用（$P < 0.05$）。FO1 组肝体比显著低于 FF 组（$P < 0.05$），FO2 组肠体比与 FFA、FOA2 组相比显著降低（$P < 0.05$），氧化鱼油与精氨酸对黄颡鱼肝体比的影响存在交互作用（$P < 0.05$）。FOA1 组全鱼粗脂肪含量与 FO1 组相比显著降低（$P < 0.05$）。在 FF、FO1、FO2 组中，随着氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼血清总抗氧化能力（T-AOC）逐渐降低，FO2 组显著低于 FF 组（$P < 0.05$）；氧化鱼油饲料添加精氨酸后，黄颡鱼血清 T-AOC 分别升高 77.0%（FOA1 组 vs.FO1 组）和 137.4%（FOA2 比 FO2），其中后者达显著水平（$P < 0.05$）。双因素方差分析结果显示，氧化鱼油对血清丙二醛（MDA）含量的影响达到显著水平（$P < 0.05$），氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼血清 T-AOC 的影响存在交互作用（$P < 0.05$）。结果表明，

收稿日期：2016-07-12
基金项目：国家自然科学基金项目（31402307）；广东省水产饲料和饲料添加剂效价评估公共服务平台建设（2015A040404033）
作者简介：卓丽欣（1988-），女，河北高碑店人，硕士研究生，从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail： 1102267451@qq.com
*通信作者：曹俊明，研究员，博士生导师，E-mail： junmcao@163.com

在饲料中添加一定量的氧化鱼油会抑制黄颡鱼的生长性能并降低血清的抗氧化能力，但添加一定量的精氨酸可以缓解氧化鱼油对黄颡鱼生长的抑制作用，并增强其机体的抗氧化能力。

关键词：黄颡鱼；氧化鱼油；精氨酸；生长性能；抗氧化指标

中图分类号：S963　　文献标识码：A　　文章编号：

黄颡鱼属鲶形目，鲿科，黄颡鱼属，其蛋白质含量高、营养丰富、味道鲜美，近年来养殖规模日渐扩大，对配合饲料的数量和质量要求均不断提高。饲料的氧化酸败是影响饲料品质和动物生长的重要因素。试验证明，黄颡鱼摄食被氧化的饲料后会降低机体生长性能和免疫抗氧化功能[1]。因此，通过提高黄颡鱼机体的抗氧化能力，降低饲料中氧化物质对其生长性能和抗氧化能力的影响，将对黄颡鱼的健康养殖产生积极的促进作用。

精氨酸作为鱼类的必需氨基酸，在生物体内参与多种代谢反应，如蛋白质、尿素和鸟氨酸的合成，谷氨酸和脯氨酸的代谢，肌酸和多胺的合成，胰岛素和胰高血糖的排泄等，对促进鱼类生长、增强鱼体免疫、提高抗应激能力有着重要的作用[2-4]。已有研究表明，饲料中添加精氨酸可以促进青石斑鱼（*Epinephelus awoara*）[5]、金鲳鱼（*Trachinotus ovatus*）[6]等鱼类的生长性能，增强斑点叉尾鮰（*Ictalurus punctatus*）[7]、黄颡鱼[8]、条纹鲈鱼(*Morone chrysops*×*Morone saxatilis*)[9]等鱼类的抗氧化能力。本实验室前期研究亦表明，常规饲料中添加一定量的精氨酸可以促进黄颡鱼幼鱼的生长性能，提高抗氧化能力，其适宜添加量为 2.74%~2.81%饲料[10]。然而，目前关于精氨酸在氧化鱼油所致鱼体损伤的干预作用尚未见报道。为进一步揭示精氨酸对黄颡鱼抗饲料氧化因子能力的影响，本试验以黄颡鱼幼鱼为研究对象，研究了饲料中添加氧化鱼油和精氨酸不同组合对其生长性能、体成分、血清生化指标和血清、肝脏抗氧化指标的影响，分析了氧化鱼油的抑制效果和精氨酸的干预作用，以便为精氨酸在黄颡鱼饲料中的合理利用提供进一步的理论依据。

1　材料与方法

1.1　氧化鱼油的制作

氧化鱼油的制作参考殷永风等[11]的方法，并略作改进。将 500 g 新鲜鱼油装到 1 L 的大容量烧瓶中，在 50 ℃恒温水浴的条件下连续充气氧化。每隔 2 d 取少量氧化鱼油测定过氧化值（POV），测定方法参照文献[12-13]。当氧化鱼油的 POV 达到预期值时停止充气，放置在-20 ℃的冰箱中保存备用。

1.2　试验饲料

以鱼粉（粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量分别为 73.7%、7.9%、13.1%）、豆粕（粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量分别为 45.7%、2.6%、6.6%）、菜籽粕（粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量分别为 32.4%、3.5%、6.3%）和玉米蛋白粉（粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量分别为 62.0%、7.4%、2.0%）为主要蛋白质源，高筋面粉为主要糖源，豆油和鱼油为脂肪源，鱼油中新鲜鱼油:氧化鱼油（*m*/*m*）分别为 2.5:0、1.5:1.0 和 0.5:2.0，配制 3 种试验饲料（FF、FO1、FO2）。在 FF、FO1、FO2 基础上分别添加 0.48% *L*-精氨酸盐酸盐（纯度≥99%，购自宁波海德氨基酸工业有限公司），配制 3 种精氨酸饲料（FFA、FOA1、FOA2）。试验饲料组成及营养水平如表 1 所示。饲料原料经粉碎后过 60 目筛，按配方准确称取，各种饲料成分逐级混匀后，分别添加相应的油脂，用混合机混合，混合均匀后，加适量水在搅拌机中搅拌均匀，用 SLX-80 型双螺杆挤压机（华南理工大学科技实业总厂生产）制成 1.5 mm 条状，再由 G-500 型造粒机（华南理工大学科技实业总厂生产）制成颗粒饲料，55 ℃烘干，自然冷却后放入密封袋中，置于-20 ℃冰箱中保存备用。

采用出口动植物油脂 POV 检测方法（SN/T 0801.3-2011）测定 6 种饲料 FF、FO1、FO2、FFA、FOA1、FOA2 的 POV，其结果分别为 12.70、14.09、33.70、12.15、14.06、34.00 meq/kg。

1.3　试验鱼与饲养管理

试验用黄颡鱼幼鱼购自广东省清远市黄沙渔业基地。试验开始前将黄颡鱼在室外水泥池中暂养 2 周，期间投喂商品饲料，每天 2 次。养殖试验在广东省农业科学院动物科学研究所水产研究室室内循环水养殖系统中进行，系统由直径 80 cm、高 70 cm 的圆柱形玻璃纤维桶组成，容水量约为 300 L。试验开始时，选取初始体均重为（4.41±0.05） g 的黄颡鱼 600 尾，随机分为 6 组，每组 4 个重复，每个重复 25 尾鱼，分别投喂 6 种试验饲料，标记为 FF、FO1、FO2、FFA、FOA1 和 FOA2 组。试验期间每天 08:30 和 18:30 各投喂 1 次，投喂量为体重的 5%~6%，采用表观饱食投喂。养殖系统采取循环水过滤，养殖用水为曝气的自来水，进水速率为 1.5 L/min，定时换水。试验期间自然光源，水温 29.5~33.0 ℃，氨氮浓度<0.20 mg/L，亚硝酸盐浓度<0.01 mg/L，溶氧浓度>6.0 mg/L，pH 7.4~7.9。养殖试验为期 56 d。

表 1　试验饲料组成及营养水平（风干基础，%）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets （air-dry basis，%）

项目 Items	饲料 Diets					
	FF	FO1	FO2	FFA	FOA1	FOA2
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
豆粕 Soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00

菜籽粕 Rapeseed meal	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
高筋面粉 Bread flour	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50
多维 Vitamin premix[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
多矿 Mineral premix[2)]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素 C 酯 Vitamin C ester	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
氯化胆碱 Choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
豆油 Soybean oil	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
新鲜鱼油 Fresh fish oil	2.50	1.50	0.50	2.50	1.50	0.50
氧化鱼油 Oxidized fish oil		1.00	2.00		1.00	2.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
额外添加 *L*-精氨酸盐酸盐 Extra addition of *L*-Arg HCl				0.48	0.48	0.48
营养水平 Nutrient levels[3)]						
粗蛋白质 Crude protein	42.47	42.83	41.99	43.56	43.89	42.06
粗脂肪 Crude lipid	8.53	8.43	8.53	8.86	8.94	8.74
粗灰分 Ash	7.12	6.82	6.76	6.86	6.73	6.72
水分 Moisture	8.49	8.58	8.16	8.37	8.56	8.11
精氨酸 Arg	2.63	2.80	2.81	3.26	3.15	3.22

[1)] 每千克维生素预混料含有 One kilogram of multi-vitamin premix contained the following: VA 3 200 000 IU，VB_1 4 g，VB_2 8 g，VB_6 4.8 g，VB_{12} 16 mg，VD_3 1 600 000 IU，VE 16 g，VK 4 g, 泛酸钙 calcium pantothenate 16 g, 叶酸 folic acid 1.28 g, 烟酸 nicotinic acid 28 g, 肌醇 inositol 40 g, 生物素 biotin 64 mg。水分 moisture≤10%。

[2)] 每千克矿物质预混料含有 One kilogram of mineral premix contained the following: $MgSO_4{\cdot}H_2O$ 12 g，$Ca(IO_3)_2$ 9 g,KCl 36 g，Met-Cu 1.5 g，$ZnSO_4{\cdot}H_2O$ 10 g，$FeSO_4{\cdot}H_2O$ 1 g，Met-Co 250 mg，$NaSeO_3$ 0.003 6 g。

[3)] 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.4 样品采集

养殖试验结束后停食 24 h，称量每缸试验鱼的终末体重，统计存活率（survival rate，SR）。从每个重复随机选取 18 尾鱼，放入 120 mg/L 的 MS-222 溶液中麻醉。其中 3 尾置于-20 ℃保存，用于测定全鱼常规营养成分；5 尾测定体重、体长、内脏重、肝脏重和肠道重，用于计算生长性能指标和形态学指标；10 尾用于尾静脉取血，室温静置 4 h，4 000 r/min 离心 10 min 制备血清，取上清液分装，置于-80 ℃冰箱保存，用于测定血清生化指标和抗氧化指标。

肝脏上清液的制备：称取一定质量的肝脏样品，加 9 倍体积的 0.86%预冷生理盐水，在冰水浴中进行匀浆，3 000 r/min 离心 10 min，取上清液，于-20 ℃冰箱保存，用于测定肝脏抗氧化指标。

1.5 指标测定及分析

1.5.1 生长性能和形态学指标计算

存活率（%）=100×终末尾数/初始尾数；

增重率（weight gain rate，WGR，%）=100×[终末体重(g）－初始体重(g）]/初始体重(g)；

特定生长率（specific growth rate，SGR，%/d）=100×[ln 终末体重(g）－ln 初始体重(g）]/饲养天数(d)；

饲料系数（feed conversion ratio，FCR）=投饲总量(g）/[终末体重(g）－初始体重(g）]；

摄食率（feeding rate，FR，%）=100×饲料总摄入干物质量(g）/{饲养天数(d)×［终末均重(g）+初始均重(g)］/2}；

蛋白质沉积率（protein deposition rate,PDR,%）=100×[终末体重(g）×终末鱼体蛋白质含量（%）－初始体重(g）×初始鱼体粗蛋白质含量（%）]/[饲料摄入量(g）×饲料粗蛋白质含量（%）]；

肥满度（condition factor，CF，%）=100×体重(g）/体长(cm^3)；

脏体比（viscerosomatic index，VSI，%）=100×内脏重(g）/体重(g)；

肝体比（hepatosomatic index，HSI，%）=100×肝脏重(g）/体重(g)；

肠体比（intestinesomatic index，ISI，%）=100×肠道重(g）/体重(g)。

1.5.2 饲料及全鱼常规营养成分含量分析

水分含量采用 105 ℃烘箱烘干至恒重的方法（GB/T 6435-1986）测定，粗蛋白质含量利用半自动凯氏定氮仪采用凯氏定氮法（GB/T 6432-1994）测定，粗脂肪含量采用乙醚抽提的方法（GB/T 6433-1994）测定，粗灰分含量采用 550 ℃灼烧至恒重的方法（GB/T 6438-1992）测定。

1.5.3 血清生化指标分析

血清白蛋白、球蛋白、甘油三酯、胆固醇、葡萄糖、尿素氮含量和谷草转氨酶、谷丙转氨酶、乳酸脱氢酶活性由广州金域医学检验中心采用日立 7600 全自动生化分析仪测定。

1.5.4 抗氧化指标分析

血清和肝脏上清液用试剂盒进行抗氧化指标测定，试剂盒均购自南京建成生物工程研究所，具体测定方法参照试剂盒所附说明书。超氧化物歧化酶（SOD）活性采用羟胺法测定，谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性采用比色法测定，过氧化氢酶（CAT）活性采用可见光法测定，总抗氧化能力(T-AOC)采用比色法测定，丙二醛(MDA)含量采用 2-硫代巴比妥酸（TBA）法测定。

1.6 数据统计

试验数据用平均值±标准差（mean±SD，n=4）表示，采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），利用 Duncan 法分析比较各组之间的数据，当 $P < 0.05$ 时，组间差异显著。采用 SAS 9.0 软件进行双因素方差分析(two-way ANOVA)，差异显著性水平为 $P < 0.05$。

2 结 果

2.1 生长性能和形态学指标

由表 2 可知，各组黄颡鱼的存活率均为 100%，未出现死亡情况。在 FF、FO1、FO2 3 组中，随着氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼的增重率、特定生长率和蛋白质沉积率均逐渐下降，且均在 FO2 组有最低值，与其他 2 组差异达到显著水平（$P < 0.05$）；饲料系数和摄食率呈现相反变化，且在 FO2 组有最高值，与其他 2 组显著达显著水平（$P < 0.05$）。在 FFA、FOA1、FOA2 3 组中，黄颡鱼的增重率、特定生长率、蛋白质沉积率、饲料系数和摄食率没有显著性差异（P>0.05）。FOA1、FOA2 组黄颡鱼的增重率与 FO1、FO2 相比分别升高 3.0%和 9.9%，饲料系数分别降低 2.7%和 7.4%，但差异未达显著水平（P>0.05）。经双因素方差分析，氧化鱼油对黄颡鱼增重率和摄食率的影响达到显著水平（$P < 0.05$），氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼特定生长率、蛋白质沉积率、饲料系数的影响存在交互作用（$P < 0.05$）。

表 2 氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼生长性能的影响

Table 2 Influences of oxidized fish oil and Arg on growth performance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

组别 Groups	氧化鱼油 Oxidized fish oil/%	*L*-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl/%	初均重 IBW/g	末均重 FBW/g	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/（%/d）	饲料系数 FCR/%	摄食率 FR/%	蛋白质沉积率 PDR/%	存活率 SR/%
FF	0	0	4.38±0.08	43.72±1.06	898.41±10.95^{b}	4.11±0.02^{b}	1.05±0.02^{a}	70.35±0.91^{a}	29.87±1.40^{c}	100.00±0.00
FO1	1.0	0	4.42±0.03	42.40±2.97	858.24±64.57^{b}	4.03±0.12^{b}	1.11±0.09^{a}	73.34±4.61^{a}	27.88±1.69^{bc}	100.00±0.00
FO2	2.0	0	4.50±0.11	39.11±1.57	769.85±43.61^{a}	3.86±0.09^{a}	1.22±0.05^{b}	79.29±2.48^{b}	24.88±2.00^{a}	100.00±0.00
FFA	0	0.48	4.35±0.10	43.53±2.45	900.66±51.92^{b}	4.11±0.09^{b}	1.06±0.06^{a}	71.8±3.35^{a}	27.92±1.70^{bc}	100.00±0.00
FOA1	1.0	0.48	4.40±0.01	43.29±1.67	883.72±39.70^{b}	4.08±0.07^{b}	1.08±0.05^{a}	71.96±2.24^{a}	27.38±1.10^{abc}	100.00±0.00

FOA2	2.0	0.48	4.38±0.02	39.80±4.66	846.20±93.32^{ab}	4.01±0.17^{ab}	1.13±0.11^{ab}	74.65±5.50^{ab}	26.58±1.35^{ab}	100.00±0.00
双因素方差分析 *P* 值 *P*-value of two-way ANOVA										
氧化鱼油 Oxidized fish oil					0.01	0.49	0.44	<0.01	0.26	
L-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl					0.38	0.38	0.45	0.27	0.42	
交互作用 Interaction					0.82	<0.01	<0.01	0.24	<0.01	

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)。下表同（表 5 除外）。

In the same line, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P < 0.05). The same as below （except Table 5）.

由表 3 可知，6 组黄颡鱼的肥满度没有显著差异（P>0.05）。FO2 组脏体比显著低于 FOA1 组（P < 0.05），其他组间差异不显著（P>0.05）。FF 组肝体比显著高于 FO1 组（P < 0.05），其他组间差异不显著（P>0.05）。FO2 组肠体比与 FFA 和 FOA2 相比显著降低（P < 0.05）。经双因素方差分析，精氨酸对黄颡鱼肠体比的影响达到极显著水平（P < 0.01），氧化鱼油和精氨酸对肝体比的影响存在交互作用（P < 0.05）。

表 3　氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼形态学指标的影响

Table 3　Influences of oxidized fish oil and Arg on biometric parameters of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

组别 Groups	氧化鱼油 Oxidized fish oil/%	*L*-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl/%	肥满度 CF/(g/cm^3)	脏体比 VSI/%	肝体比 HSI/%	肠体比 ISI/%
FF	0	0	1.90±0.15	8.16±1.01^{ab}	1.82±0.32^{b}	1.81±0.34^{ab}
FO1	1.0	0	1.87±0.13	8.37±1.11^{ab}	1.63±0.25^{a}	1.90±0.27^{ab}
FO2	2.0	0	1.85±0.13	7.88±0.92^{a}	1.67±0.17^{ab}	1.73±0.18^{a}
FFA	0	0.48	1.86±0.14	8.36±1.23^{ab}	1.70±0.31^{ab}	2.01±0.51^{b}
FOA1	1.0	0.48	1.94±0.17	8.65±1.44^{b}	1.76±0.31^{ab}	1.89±0.57^{ab}
FOA2	2.0	0.48	1.92±0.11	8.38±0.87^{ab}	1.76±0.26^{ab}	2.01±0.37^{b}
双因素方差分析 *P* 值 *P*-value of two-way ANOVA						
氧化鱼油 Oxidized fish oil			0.23	0.78	0.84	0.65
L-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl			0.55	0.13	0.19	<0.01
交互作用 Interaction			0.32	0.56	0.03	0.76

2.2　全鱼常规营养成分含量

由表 4 可知，6 组黄颡鱼全鱼干物质、粗蛋白质和粗灰分含量无显著差异（P>0.05），但 FOA1 组粗脂肪含量比 FO1 组显著降低（P < 0.05）。经双因素方差分析，精氨酸对全鱼粗脂肪含量的影响达到显著水平（P < 0.05）。

表 4　氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼全鱼常规营养成分含量的影响（干物质基础，%）

Table 4　Influences of oxidized fish oil and Arg on whole body unconventional nutritional contents of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) (DM basis，%)

组别 Groups	氧化鱼油 Oxidized fish oil/%	*L*-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl/%	干物质 Dry matter	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Ash
FF	0	0	27.78±1.23	14.39±0.45	8.14±0.85^{ab}	2.91±0.90
FO1	1.0	0	28.03±0.59	14.61±0.20	8.34±0.26^{b}	3.19±0.13
FO2	2.0	0	27.20±1.00	14.36±0.54	7.93±0.39^{ab}	2.84±0.43
FFA	0	0.48	28.20±1.11	14.29±0.26	8.66±0.62^{ab}	3.06±0.12
FOA1	1.0	0.48	27.34±0.68	14.23±0.48	7.77±0.88^{a}	3.12±0.15
FOA2	2.0	0.48	27.95±1.02	14.49±0.47	8.05±1.03^{ab}	2.89±0.90
双因素方差分析 *P* 值 *P*-value of two-way ANOVA						
氧化鱼油 Oxidized fish oil			0.40	0.95	0.77	0.99
L-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl			0.90	0.74	0.02	0.89
交互作用 Interaction			0.58	0.57	0.61	0.08

2.3　血清生化指标

由表 5 可知，6 组黄颡鱼血清白蛋白、球蛋白、甘油三酯、胆固醇、尿素氮、葡萄糖含量和谷草转氨酶、谷丙转氨酶、乳酸脱氢酶活性均无显著差异（P>0.05）。

表 5　氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼血清生化指标的影响

Table 5　Influences of oxidized fish oil and Arg on serum biochemical indexes of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

项目 Items	组别 Groups					
	FF	FO1	FO2	FFA	FOA1	FOA2
白蛋白 ALB/（g/L）	8.90±0.58	9.37±0.72	8.95±0.72	8.85±0.54	9.00±0.68	9.16±0.49
球蛋白 GLB/（g/L）	23.10±2.43	25.72±1.90	23.58±1.19	23.07±0.805	23.30±2.04	23.63±1.50
甘油三酯 TG/（mmol/L）	5.75±0.70	6.88±1.05	6.04±1.12	5.73±1.15	6.45±1.04	6.02±1.70
胆固醇 CHO/（mmol/L）	3.78±0.45	4.22±0.22	4.10±0.34	3.69±0.23	3.91±0.53	4.02±0.39
谷草转氨酶 GOT/（U/L）	191.25±18.82	189.00±15.64	213.25±18.95	184.50±22.12	188.00±23.54	193.67±4.04
谷丙转氨酶	6.00±1.29	7.00±2.16	6.50±2.16	6.00±0.81	6.50±2.00	6.33±1.53

GPT/（U/L）						
尿素氮 UN/（mmol/L）	0.80±0.22	0.87±0.35	0.85±0.13	0.80±0.14	0.78±0.08	0.70±0.17
乳酸脱氢酶 LDH/（U/L）	761.25±99.54	799.50±218.66	897.00±291.01	760.75±103.50	766.25±258.12	773.67±97.65
葡萄糖 GLU/（mmol/L）	10.55±2.75	10.07±3.12	7.68±0.64	10.18±0.47	9.97±1.05	9.86±1.77

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)。

In the same row, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P < 0.05).

2.4 血清和肝脏抗氧化指标

由表 6 可知，在 FF、FO1、FO2 3 组中，随氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼血清 SOD 活性活性呈现下降趋势，GSH-Px 活性和 MDA 含量呈现上升趋势，但均无显著差异（P>0.05）；血清 T-AOC 逐渐降低，FO2 组显著低于 FF 组（P < 0.05）。在含氧化鱼油饲料中添加精氨酸后，血清 T-AOC 分别升高 77.0%（FOA1 组 vs.FO1 组）和 137.4%（FOA2 组 vs.FO2 组），且后者达到显著水平（P < 0.05）；血清 MDA 含量分别降低 12.0%（FOA1 组 vs.FO1 组）和 17.4%（FOA2 组 vs.FO2 组）。双因素方差分析结果显示，氧化鱼油和精氨酸对血清 T-AOC 的影响存在交互作用（P < 0.05），氧化鱼油对血清 MDA 含量的影响达到显著水平（P < 0.05）。

表 6　氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼血清抗氧化指标的影响

Table 6　Influences of oxidized fish oil and Arg on serum antioxidant indexes of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

组别 Groups	氧化鱼油 Oxidized fish oil/%	*L*-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl/%	超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	丙二醛 MDA/(nmol/L)
FF	0	0	25.16±2.16	145.22±27.93	8.23±2.24	4.60±0.38[b]	22.63±2.15
FO1	1.0	0	24.02±5.13	158.83±16.80	7.83±5.96	2.56±1.05[ab]	24.25±5.31
FO2	2.0	0	21.38±2.20	163.70±32.09	8.04±2.68	1.98±1.54[a]	26.46±1.03
FFA	0	0.48	26.12±3.90	152.04±28.71	5.91±1.08	3.87±2.22[ab]	23.80±2.97
FOA1	1.0	0.48	25.23±0.99	153.18±39.14	6.41±2.13	4.53±0.50[b]	21.33±4.33
FOA2	2.0	0.48	21.72±3.09	151.39±11.63	12.74±7.03	4.70±0.74[b]	21.86±6.69
双因素方差分析 P 值 P-value of two-way ANOVA							
氧化鱼油 Oxidized fish oil			0.56	0.83	0.51	0.35	0.04
L-精氨酸盐酸盐 *L*-Arg HCl			0.97	0.68	0.60	0.50	0.36

交互作用 Interaction	0.07	0.73	0.26	0.04	0.20

由表 7 可知，6 组黄颡鱼肝脏 SOD、CAT 活性，T-AOC 和 MDA 含量均无显著差异（P>0.05），但在 FF、FO1、FO2 3 组中，随氧化鱼油添加量的增加，肝脏 SOD 活性和 MDA 含量呈现上升趋势。FO2、FOA1 组肝脏 GSH-Px 活性显著高于 FF、FO1 和 FOA2（P < 0.05）。

表 7　氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼肝脏抗氧化指标的影响

Table 7　Influences of oxidized fish oil and Arg on liver antioxidant indexes of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

组别 Groups	超氧化物歧化酶 SOD/(U/ mg prot)	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/ (U/ mg prot)	过氧化氢酶 CAT/ (U/mg prot)	总抗氧化能力 T-AOC/ (U/mg prot)	丙二醛 MDA/ (umol/mg prot)
FF	6.16±1.94	116.24±29.99^{a}	24.25±0.45	0.61±0.45	4.54±1.51
FO1	6.29±1.79	121.52±10.99^{a}	24.03±0.38	0.73±0.69	4.72±0.98
FO2	8.54±0.67	332.67±25.99^{b}	23.81±0.10	0.44±0.49	6.49±0.29
FFA	5.40±2.63	223.9±93.11^{ab}	24.37±0.52	0.87±0.69	4.90±1.83
FOA1	6.49±1.56	324.27±34.29^{b}	23.82±0.39	1.09±0.93	5.06±0.28
FOA2	5.76±0.35	169.41±80.23^{a}	24.16±0.30	0.29±0.19	5.18±1.72

3　讨　论

3.1　氧化鱼油对黄颡鱼生长性能的影响及精氨酸的干预作用

本试验结果显示，饲料中添加一定量的氧化鱼油会降低黄颡鱼幼鱼的增重率、特定生长率和蛋白质沉积率，并升高饲料系数。刘伟等[14]发现，摄食氧化油脂的鲤鱼(*Cyprinus carpio*)，其饲料转化率和增重率均下降。彭士明等[15]研究表明，饲料中添加氧化鱼油显著降低黑鲷(*Acanthopagrus schlegeli*)的增重率、饲料效率和蛋白质效率。韩雨哲等[16]报道，花鲈（*Lateolabrax maculatus*）在摄食含氧化鱼油饲料后会减缓其生长。陈科全等[17]在饲料中添加氧化鱼油后发现会降低草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的生长速度、饲料效率和脂肪沉积率。薛继鹏[18]指出，瓦氏黄颡鱼（*Pelteobagrus vachelli*）的特定生长率和肥满度均因饲料中添加氧化鱼油而呈现下降趋势。高淳仁等[19]研究表明，氧化鱼油会降低真鲷（*Sea bream*）幼鱼的增重率和存活率，并且其增重率与饲料的POV呈现一定的线性关系。上述学者的报道和本试验结果均表明，饲料中氧化鱼油对不同水产动物生长性能具有抑制作用。但是，陈拥军[20]在大口黑鲈（*Micropterus salmoides*）幼鱼的研究中发现，饲料中氧化鱼油的添加会促进大口黑鲈幼鱼的生长。出现这种差异的原因除了饲料的营养价值下降外，还可能与氧化产物引起的氧化胁迫压力抑制鱼体正常生长有关，再者不同鱼种可能对氧化油脂的耐受度不同。本试验结果显示，随着饲料中氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼饲料系数和摄食率逐渐升高，进一步说明氧化鱼油在不影响饲料适口性的基础上，其营养价值明显下降。已有研究报道，

精氨酸可促进军曹鱼（*Rachycentron canadum*）[21]、斑点叉尾鮰[22]、杂交条纹鲈（*Moront saxatuis*）[23]、印度鲶鱼（*Silurus asotus*）[24]、印度鲤鱼（*Parupeneus indicus*）[25]、黑鲷[26]、黄颡鱼[27]的生长，增强机体的抗氧化功能。本试验结果显示，在含1.00%和2.00%的氧化鱼油饲料中添加一定量的精氨酸，黄颡鱼增重率分别升高3.0%和9.9%，饲料系数分别下降2.7%和7.4%，并且经双因素方差分析，氧化鱼油与精氨酸对黄颡鱼特定生长率、蛋白质沉积率、饲料系数的影响存在交互作用，说明精氨酸能够缓解氧化鱼油对黄颡鱼生长性能的抑制作用。其原因可能在于精氨酸通过提高黄颡鱼机体内的相关酶活性来缓解氧化鱼油对机体造成的氧化胁迫压力，或是通过对机体的内在调解来满足其本身的营养需求，其具体作用机理有待进一步研究。在本试验中，饲料中氧化鱼油与精氨酸对黄颡鱼肝体比的影响存在交互作用。该结果与任泽林等[28]在鲤鱼、黄凯等[29]在奥尼罗非鱼上的研究结果相反。其原因可能是不同鱼种对氧化油脂的耐受度有所不同，或是因为养殖周期的长短不同，使肝脏内氧化产物的积累量不同，导致肝脏细胞不同的发展趋势。已有研究发现，精氨酸参与调节机体多种生理生化过程，可以维护肠道形态，促进肠黏膜上皮细胞增殖，抑制肠黏膜上皮细胞凋亡[30]。Cheng等[9]在条纹鲈鱼上的研究结果显示，饲料中添加适量精氨酸能促进条纹鲈鱼生长激素和胰岛素的分泌。本试验通过双因素方差分析可知，饲料中精氨酸对黄颡鱼肠体比的影响达到极显著水平。其原因可能是饲料中适宜含量的精氨酸可加速肠黏膜上皮细胞增殖来提高肠道对饲料中营养物质的消化吸收，从而满足鱼体正常生长对营养物质的需求。

3.2　氧化鱼油对黄颡鱼全鱼常规营养成分含量的影响及精氨酸的干预作用

本试验结果显示，随着饲料中氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼全鱼干物质、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量均呈现先上升后下降的趋势，但差异均未达到显著水平，但精氨酸对黄颡鱼全鱼粗脂肪含量具有显著影响。任泽林等[28]研究表明，在氧化产物剂量偏低时，鲤鱼机体通过增加全鱼粗脂肪含量来消弱其氧化稳定性；当氧化产物剂量过高时，全鱼粗脂肪含量下降的原因可能是肝脏等组织器官的脂肪酸合成代谢能力下降所致。本试验中，在氧化鱼油饲料中添加适量精氨酸，可能通过改变黄颡鱼全鱼粗脂肪含量来影响机体的氧化稳定性，其原因可能是精氨酸刺激某些酶类的分泌，从而调控脂肪酸合成和分解代谢途径。

3.3　氧化鱼油对黄颡鱼血清和肝脏抗氧化指标的影响及精氨酸的干预作用

SOD、GSH-Px 是生物体抗氧化防御系统重要的物质，可清除体内活性氧自由基，保护细胞膜及细胞内的核酸[31]。本试验结果显示，随着饲料中氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼血清 SOD 活性呈现下降趋势。该结果与唐筱等[32]及王珺[33]在大黄鱼(*Pseudosciaena crocea* R)上的研究结果一致，但与

Mourente 等[34]在金头鲷（*Sparus aurata* L）上的研究结果相反。其原因可能是不同鱼种对氧化油脂的耐受度有所不同。本试验结果显示，随着饲料中氧化鱼油添加量的增加，黄颡鱼血清 GSH-Px 活性呈现上升趋势。该结果与黄凯等[29]在奥尼罗非鱼上的研究结果相一致。其原因可能是因为氧化鱼油摄入体内后，会提高细胞中氧自由基等生物活性物质的含量，增加抗氧化酶反应底物浓度，进而提高 GSH-Px 活性。但是当氧化产物含量积累过高时，鱼体内的抗氧化相关酶类的平衡已经被打破，进而对机体造成毒副作用。T-AOC 是用于衡量机体抗氧化系统功能的综合指标，其大小可以反映机体对外来刺激的代偿能力和机体自由基代谢的状态[31]。本试验结果显示，饲料中添加氧化鱼油可降低黄颡鱼血清 T-AOC，并在 FO2 组达到显著水平，说明随着饲料中氧化物质含量的升高，黄颡鱼对外源氧化产物刺激的代偿能力和对机体自由基清除能力逐渐减弱。但在含氧化鱼油饲料中添加适量精氨酸后，黄颡鱼血清 T-AOC 分别升高 77.0%（FOA1 组 vs.FO1 组）和 137.4%（FOA2 组 vs.FO2 组）。这说明氧化鱼油饲料中添加适量精氨酸可提高黄颡鱼血清的抗氧化能力，从而缓解黄颡鱼对外源氧化产物刺激所造成的机体抗氧化能力下降。这与精氨酸减缓氧化鱼油对黄颡鱼生长性能的抑制效果相一致。MDA 含量常常反映机体内脂质过氧化的程度，间接反映细胞受损伤程度[35-36]。本试验中，随着饲料中氧化鱼油添加量的增加，血清 MDA 含量呈现上升趋势。经双因素方差分析可知，氧化鱼油对黄颡鱼血清 MDA 含量的影响达到显著水平，该结果与彭士明等[31]在黑鲷上的研究结果一致，说明随着氧化产物的积累，黄颡鱼机体内脂质过氧化物质的积累量增多，原因可能是体内细胞膜受到损伤，失去选择透过性功能，导致细胞内液外流。该现象间接表明机体内细胞的损伤程度进一步加深。在含氧化鱼油饲料中添加适量精氨酸后，血清 MDA 含量分别降低 12.0%（FOA1 组 vs.FO1 组）和 17.4%（FOA2 组 vs.FO2 组）。这可能在于精氨酸通过减少机体内细胞的损伤，或是促进体内细胞增殖，从而替换受损细胞来改善氧化鱼油对机体细胞造成的毒副作用。

在黄颡鱼肝脏中，随着饲料中氧化鱼油添加量的增加，SOD、GSH 活性和 MDA 含量呈现上升趋势。该结果与黄凯等[29]在奥尼罗非鱼和韩雨哲等[16]在花鲈上的研究结果相一致。然而，任泽林等[37]报道，氧化鱼油会降低鲤鱼肝胰脏中 SOD 和 CAT 活性；陈拥军[20]则报道，氧化鱼油会降低黑鲈肝胰脏中 GSH-Px 活性。之所以会出现不同的结果，可能是因为饲料营养成分、养殖条件、试验周期和鱼油氧化程度不同及不同水产动物对油脂耐受能力不同所致。在本试验中，饲料中添加适量精氨酸后，黄颡鱼肝脏 GSH-Px 活性呈现先上升后下降趋势，但 T-AOC 没有出现与在血清中的相似变化规律，其原因和机理有待于进一步研究。

4 结 论

在饲料中添加一定量的氧化鱼油会抑制黄颡鱼的生长性能并降低血清的抗氧化能力，但添加一定量的精氨酸可以缓解氧化鱼油对黄颡鱼生长的抑制作用，并增强其机体的抗氧化能力。

参考文献:

[1] 张红娟,刘玉梅,刘海燕,等.油脂氧化对水产动物的危害及其预防对策[J].饲料研究,2013(7):68–71.

[2] 罗智,刘永坚,麦康森,等.鱼类精氨酸需求研究进展(英文)[J].水产学报,2004,28(4):450–459.

[3] 万军利,麦康森,艾庆辉.鱼类精氨酸营养生理研究进展[J].中国水产科学,2006,13(4):679–685.

[4] 王连生,徐奇友.鱼类精氨酸营养研究进展[J].东北农业大学学报,2014,45(9):123–128.

[5] ZHOU Q C,ZENG W P,WANG H L,et al.Dietary arginine requirement of juvenile yellow grouper *Epinephelus awoara*[J].Aquaculture,2012,350/351/352/353:175–182.

[6] POHLENZ C,BUENTELLO A,HELLAND S J,et al.Effects of dietary arginine supplementation on growth,protein optimization and innate immune response of channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque 1818)[J].Aquaculture Research,2014,45(3):491–500.

[7] LIU Y,CHI L,FENG L,et al.Effects of graded levels of dietary vitamin C on the growth,digestive capacity and intestinal microflora of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var.Jian)[J].Aquaculture Research,2011,42(4):534–548.

[8] ZHOU Q C,JIN M,ELMADA Z C,et al.Growth,immune response and resistance to *Aeromonas hydrophila* of juvenile yellow catfish,*Pelteobagrus fulvidraco*,fed diets with different arginine levels[J].Aquaculture,2015,437:84–91.

[9] CHENG Z Y,GATLIN Ⅲ D M,BUENTELLO A.Dietary supplementation of arginine and/or glutamine influences growth performance,immune responses and intestinal morphology of hybrid striped bass (*Morone chrysops*×*Morone saxatilis*)[J].Aquaculture,2012,362/363:39–43.

[10] CHEN Q M,ZHAO H X,HUANG Y H,et al.Effects of dietary arginine levels on growth performance,body composition,serum biochemical indices and resistance ability against ammonia-nitrogen stress in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J].Animal Nutrition,2016,2(3):204-210.

[11] 殷永风,叶元土,蔡春芳,等.在自制氧化装置中氧化时间对豆油氧化指标的影响[J].安徽农业科学,2011,39(7):4052–4054,4057.

[12] 袁奕彬.饲料用鱼油的质量指标与快速鉴定[J].广东饲料,2009,18(2):32–33.

[13] 赵新淮,张娜,王琳.油脂过氧化值的碘量测定法比较研究[J].中国油脂,2003,28(4):60–62.
[14] 刘伟,张桂兰,陈海燕.饲料添加氧化油脂对鲤体内脂质过氧化及血液指标的影响[J].中国水产科学,1997,4(1):94–96.
[15] 彭士明,陈立侨,叶金云,等.饲料中添加氧化鱼油对黑鲷幼鱼生长的影响[J].水产学报,2007,31(增刊):109–115.
[16] 韩雨哲,姜志强,任同军,等.氧化鱼油与棕榈油对花鲈肝脏抗氧化酶及组织结构的影响[J].中国水产科学,2010,17(4):798–806.
[17] 陈科全,叶元土,蔡春芳,等.饲料中氧化鱼油对草鱼生长及肌肉脂肪酸组成的影响[J].动物营养学报,2015,27(6):1698–1708.
[18] 薛继鹏.三聚氰胺、氧化鱼油和脂肪对瓦氏黄颡鱼生长和体色的影响[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2011.
[19] 高淳仁,雷霁霖.饲料中氧化鱼油对真鲷幼鱼生长、存活及脂肪酸组成的影响[J].上海水产大学学报,1999,8(2):124–130.
[20] 陈拥军.鱼油氧化对大口黑鲈幼鱼健康的危害及其控制[D].博士学位论文.广州:中山大学,2014.
[21] REN M C,AI Q H,MAI K S.Dietary arginine requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Aquaculture Research,2014,45(2):225–233.
[22] POHLENZ C,BUENTELLO A,CRISCITIELLO M F,et al.Synergies between vaccination and dietary arginine and glutamine supplementation improve the immune response of channel catfish against *Edwardsiella ictaluri*[J].Fish & Shellfish Immunology,2012,33(3):543–551.
[23] CLOSS E I,SIMON A,VÉKONY N,et al.Plasma membrane transporters for arginine[J].The Journal of Nutrition,2004,134(10):2752S-2759S.
[24] NIEVES C,Jr,LANGKAMP-HENKEN B.Arginine and immunity:a unique perspective[J].Biomedicine & Pharmacotherapy,2002,56(10):471–482.
[25] ZEHRA S,KHAN M A.Dietary arginine requirement of fingerling Indian major carp,*Catla catla* (Hamilton)[J].Journal of the World Aquaculture Society,2013,44(3):363–373.
[26] ZHOU F,ZHOU J,SHAO Q,et al.Effects of arginine-deficient and replete diets on growth performance,digestive enzyme activities and genes expression of black sea bream,*Acanthopagrus schlegelii*,juveniles[J].Journal of the World Aquaculture Society,2012,43(6):828–839.

[27] 封福鲜.精氨酸、赖氨酸和苏氨酸对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长、代谢及免疫力的影响[D].硕士学位论文.青岛:中国海洋大学,2011.

[28] 任泽林,霍启光,曾虹,等.氧化鱼油对鲤鱼生产性能和肌肉组织结构的影响[J].动物营养学报,2001,13(1):59–64.

[29] 黄凯,阮栋俭,战歌,等.氧化油脂对奥尼罗非鱼生长和抗氧化性能的影响[J].淡水渔业,2006,36(6):21–24.

[30] 苗新,曹娟娟,徐玮,等.核苷酸对大黄鱼生长性能、肠道形态和抗氧化能力的影响[J].水产学报,2014,38(8):1140–1148.

[31] 彭士明,陈立侨,侯俊利,等.氧化鱼油饲料中添加VE对黑鲷幼鱼体脂含量及肝脏抗氧化酶活性的影响[J].上海水产大学学报,2008,17(3):298–304.

[32] 唐筱,王珺,徐后国,等.氧化鱼油和维生素E对大黄鱼SOD和CAT酶活性的影响[J].中国海洋大学学报,2010,40(S1):55–58,64.

[33] 王珺.乙氧基喹啉、氧化鱼油和烟酸铬对大黄鱼与鲈鱼生长性能的影响及其在鱼体组织中残留的研究[J].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2010.

[34] MOURENTE G,DÍAZ-SALVAGO E,BELL J G,et al.Increased activities of hepatic antioxidant defence enzymes in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed dietary oxidised oil:attenuation by dietary vitamin E[J].Aquaculture,2002,214(1/2/3/4):343–361.

[35] KONG X F,WU G Y,LIAO Y P,et al.Effects of Chinese herbal ultra-fine powder as a dietary additive on growth performance,serum metabolites and intestinal health in early-weaned piglets[J].Livestock Science,2007,108(1/2/3):272–275.

[36] 白东清,吴旋,郭永军,等.长期投喂黄芪多糖对黄颡鱼抗氧化及非特异性免疫指标的影响[J].动物营养学报,2011,23(9):1622–1630.

[37] 任泽林,曾虹,霍启光,等.氧化鱼油对鲤肝胰脏抗氧化机能及其组织结构的影响[J].大连水产学院学报,2000,15(4):235–243.

Influences of Oxidized Fish Oil on Growth Performance and Antioxidant Indexes of Yellow Catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) and the Use of Arginine as an Intervention Measure[2]

ZHUO Lixin[1,2,3,4] ZHAO Hongxia[2,3,4] HUANG Yanhua[2,3,4] CAO Junming[2,3,4*] WANG Guoxia[2,3,4] CHEN Bing[2,3,4] SUN Yuping[2,3,4]

(1. *College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China;* 2. *Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou* 510640, *China;* 3. *Guangdong Public Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou* 510640, *China;* 4. *Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou* 510640, *China)*

Abstract: This experiment was conducted to investigate the influences of dietary oxidized fish oil (OF) the growth performance, body composition, serum biochemical parameters and serum, liver antioxidant indexes of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*), and the intervention of arginine (Arg) on them. A total of 600 healthy yellow catfish with an initial body weight of (4.41±0.05) g were randomly divided into 6 groups with 4 replicates of 25 fish. During 56 d feeding trial, the fish were fed six diets containing 2.5% fresh fish oil (FF group), 1.5% fresh fish oil+1.0% oxidized fish oil (FO1 group), 0.5% fresh fish oil+2.0% oxidized fish oil (FO2 group), 2.5% fresh fish oil+0.48% *L*-arginine hydrochloride (FFA group), 1.5% fresh fish oil+1.0% oxidized fish oil+0.48% *L*-arginine hydrochloride (FOA1 group), 0.5% fresh fish oil+2.0% oxidized fish oil+0.48% *L*-arginine hydrochloride (FOA2 group), respectively. The results showed that among FF, FO1 and FO2 groups, the weight gain rate, specific growth rate and protein deposition rate of yellow catfish showed a downward trend, but feed conversion ratio and feeding rate were reversed. All of them reached the extreme value in the FO2 group, and the difference reached a significant level compared with FF and FO1 groups (P<0.05). While addition of Arg to the oxidized fish oil diets, no significant differences were found in above indexes among FFA, FOA1 and FOA2 groups （P>0.05）, but the weight gain rate was increased by 3.0% (FOA1 group vs. FO1 group) and 9.9% (FOA2 group vs. FO2 group), respectively. Two-factor variance analysis results showed that oxidized fish oil had significant influences on weight gain rate and feeding rate (P<0.05), and oxidized fish oil and Arg had significant interactions on specific growth rate, protein deposition rate and feed conversion ratio (P<0.05). The

*Corresponding author, professor, E-mail: junmcao@163.com （责任编辑 菅景颖）

hepatosomatic index in FO1 group was significantly lower than that in FF group ($P<0.05$), and the intestinesomatic index in FO2 group was significantly decreased compared with FFA and FOA2 groups ($P<0.05$). Oxidized fish oil and Arg had a significant interaction on hepatosomatic index ($P<0.05$). The crude lipid content of whole body in FOA1 group was significantly lower than that in FO1 group ($P<0.05$). Among FF, FO1 and FO2 groups, the serum total antioxidant capacity (T-AOC) showed a downward trend with oxidized fish oil addition increasing, and showed a significant difference between FF and FO2 groups ($P<0.05$). While addition of Arg to the oxidized fish oil diets, the serum T-AOC was increased by 77.0% (FOA1 group vs. FO1 group) and 137.4% (FOA2 group vs. FO2 group), respectively, and the latter had a significant difference ($P<0.05$). Two-factor variance analysis results showed that oxidized fish oil had a significant influence on serum malondialdehyde (MDA) content ($P<0.05$), and oxidized fish oil and Arg had a significant interaction on serum T-AOC ($P<0.05$). The results indicate that a certain amount of oxidized fish oil addition can reduce the growth performance and serum antioxidant capacity of yellow catfish, but a certain amount of Arg addition can alleviate the inhibition induced by oxidized fish oil for growth, and enhance the body’s antioxidant capacity.

Key words: yellow catfish; oxidized fish oil; arginine; growth performance; antioxidant indexes